拌种吡虫啉残留对麦长管蚜实验种群的影响

张云慧[1]，韩二宾[2]，李祥瑞[1]，蒋金炜[2]，程登发[1,*]
(1. 中国农业科学院植物保护研究所，植物病虫害生物学国家重点实验室，北京 100193；
2. 河南农业大学植物保护学院，郑州 450002)

摘要：为探明吡虫啉拌种后在下一代小麦籽粒中的吡虫啉残留对麦长管蚜 *Sitobion avenae* (Fabricius)实验种群的影响，用60%吡虫啉悬浮种衣剂与小麦籽粒按照2，4，6和8 g/kg的比例进行处理，在室内条件下采用超高效液相色谱-串联四级杆液质联用法对收获后的小麦籽粒进行残留分析；并通过室内生命表方法，研究麦长管蚜取食上述剂量吡虫啉拌种处理收获后的小麦籽粒所长幼苗后的各项生命参数。结果表明：收获的小麦籽粒中吡虫啉残留量随拌种剂量的增加而增加，以8 g/kg处理后收获的籽粒中残留量最高，为0.0290 mg/kg。随着吡虫啉残留量的增加，麦长管蚜发育历期缩短，有翅蚜率和产仔量增加，但与对照相比均未达到显著差异($P=0.392>0.05$)；不同剂量吡虫啉拌种处理的麦长管蚜净生殖率、内禀增长率、周限增长率比对照偏高，而种群加倍时间、平均世代周期比对照偏低，但均未达到显著性差异($P=0.406$)。结果说明小麦籽粒中的吡虫啉微量残留对麦长管蚜生长发育无显著不利影响，但对其生殖能力具有一定的促进作用。

关键词：麦长管蚜；吡虫啉；拌种；残留；发育历期；生殖力；生命表参数
中图分类号：Q965.9 **文献标识码**：A **文章编号**：0454-6296(2013)01-0054-06

Impact of imidacloprid residue after seed dressing on laboratory populations of *Sitobion avenae* (Hemiptera: Aphididae)

ZHANG Yun-Hui[1], HAN Er-Bin[2], LI Xiang-Rui[1], JIANG Jin-Wei[2], CHENG Deng-Fa[1,*] (1. State Key Laboratory for Biology of Plant Diseases and Insect Pests, Institute of Plant Protection, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100193, China; 2. College of Plant Protection, Henan Agricultural University, Zhengzhou 450002, China)

Abstract: This study aims to detect imidacloprid residue in wheat seeds harvested form seeds treated with different dosages of imidacloprid and its impact on the development and reproduction of the grain aphid, *Sitobion avenae* (Fabricius). Wheat seeds were coated with imidacloprid (60% FS) in a proportion of 2, 4, 6, and 8 g/kg, respectively, and imidacloprid residue in harvested wheat seeds was detected by UPLC-MS/MS. Life table of *S. avenae* laboratory populations was constructed to compare various parameters of this insect feeding on wheat plants grown from the harvested seeds. The results showed that imidacloprid residue was positively correlated with the treatment dosage, and the residue in wheat seeds harvested form seeds treated with 8 g/kg imidacloprid reached the highest level (0.0290 mg/kg). Life table metrics showed that the larval and imaginal periods were shortened, and the proportion of alates and aphid fecundity were increased in the treatments, but no significant difference existed in these parameters between the treatments and the control ($P=0.392>0.05$). Net reproduction rate, the intrinsic rate of increase and the finite rate of increase in the treatments were, respectively, higher than those of the control. In addition, the population doubling time and the mean generation time in the treatments were reduced compared to the control. But there were no significant differences in all of the parameters between the treatments and the control ($P=0.406$). The results suggest that trace residue of imidacloprid in wheat seeds has no significant impact on the development of *S. avenae*, but affects the reproductive capacity of aphids in certain degree.

Key words: *Sitobion avenae*; imidacloprid; seed dressing; residue; developmental duration; fecundity; life table parameters

---

基金项目：“十二五”国家科技支撑计划课题(2012BAD19B01)；现代农业产业技术体系建设专项(CARS-3)
作者简介：张云慧，女，1980年12月生，博士，副研究员，主要从事昆虫生态学和植保信息技术，E-mail: yhzhang@ippcaas.cn
* 通讯作者 Corresponding author, E-mail: dfcheng@ippcaas.cn
收稿日期 Received: 2012-11-14；接受日期 Accepted: 2012-12-31

吡虫啉（又名灭虫精、蚜虱净，通用名 imidacloprid），是一种超高效内吸性杀虫剂，可广泛应用于水稻、小麦、玉米、马铃薯、甜菜、棉花、蔬菜等作物的害虫防治（杜春秀，2004），对天敌较安全，与常用杀虫剂无交互抗性（孙建中等，1996），近年来吡虫啉在小麦生产上的使用量显著增加，尤其是目前的研究结果表明，吡虫啉作为拌种剂防治小麦蚜虫持效期可达 7 个月，可有效控制小麦整个生育期的蚜虫危害，且与常规喷雾相比，更有利于保护瓢虫、草蛉和蚜茧蜂等天敌昆虫（刘爱芝等，2003，2009）。小麦是我国重要的粮食作物，常年的播种面积和产量分别占粮食总量的 25% 和 22% 左右，蚜虫是威胁小麦增产、丰产的一个重要因素，吡虫啉拌种防治蚜虫可以达到“一拌无蚜”的效果，无疑给小麦蚜虫防治带来了新的思路，但拌种后长达 7 个月的持效期，引发了吡虫啉的残留问题、长期不施用化学农药引起的次要害虫再猖獗问题、蚜虫对吡虫啉的抗性以及吡虫啉残留对蚜虫生长发育和生殖能力的影响等一系列问题，不得不引起我们的足够重视。

害虫再猖獗是农林害虫防治中出现的普遍现象，包括生态再猖獗和生理再猖獗，前者的机制主要是药剂削弱了自然控制作用，后者主要是药剂引起害虫的毒物兴奋效应及补偿作用（刺激产卵）（吴进才，2011）。如吡虫啉亚致死剂量不仅能刺激褐飞虱 *Nilaparvata lugens*（Stål）生殖而且还可以显著增强褐飞虱的飞行能力，药剂处理的褐飞虱飞行速度、飞行距离、飞行时间显著大于未处理的对照（Zhao *et al*.，2011）；吡虫啉处理的三化螟 *Tryporyza incertulas*（Walker）、二化螟 *Chilo suppressalis*（Walker）成虫体内激素水平变化显著，雌成虫产卵量也显著增加（Wang *et al*.，2005；Yu *et al*.，2007）。吡虫啉拌种作为一种新型的小麦蚜虫防控技术对蚜虫防治起到了积极的作用，目前在我国小麦主产区得到了大规模的推广应用。但吡虫啉拌种后对目标蚜虫生理生化机制和生物学习性等方面的研究尚未见报道。为了进一步明确吡虫啉拌种后在收获的小麦籽粒中的残留及其对蚜虫生长发育和生殖能力的影响，本文通过液相色谱-质谱法对吡虫啉拌种后在收获的小麦籽粒中的吡虫啉残留进行了分析，并通过室内生命表方法测定了吡虫啉拌种下一代小麦籽粒作为种子繁育小麦苗后对麦长管蚜 *Sitobion avenae*（Fabricius）实验种群的影响，以期为推广应用吡虫啉拌种剂防治麦蚜提供理论依据。

1　材料与方法

1.1　材料

1.1.1　供试小麦：品种为矮抗 58，河南省科林种业有限公司提供，对照在种子繁育和栽培管理方面均未施用任何剂型吡虫啉。2010 年 10 月 22 日播种，分别以 60% 吡虫啉悬浮种衣剂与小麦籽粒按照 2，4，6 和 8 g/kg 的比例进行种子处理，2011 年 6 月 20 日收割，小麦整个生育期未施用任何农药，不同剂量吡虫啉拌种处理后收获的小麦籽粒作为供试样品。

1.1.2　虫源：2011 年 6 月从试验田采集健壮的麦长管蚜无翅成蚜，接种于室内，连续转移 3 次以保证虫源不带病毒，然后再大量繁殖作为供试虫源。

1.1.3　试剂和仪器：60% 吡虫啉悬浮种衣剂（江苏龙灯化学有限公司提供）；吡虫啉标准品（99.5%，国家标准物质中心提供）；实验室用水均为离子超纯水；无水硫酸钠和氯化钠均为分析纯。超高效液相色谱-串联四极杆液质联用仪，美国 Waters 公司；ACQUITY UPLC BEH C18 色谱柱（50 mm × 2.1 mm，1.7 μm），Waters 公司；TG16-WS 台式快速离心机，长沙湘仪离心机仪器有限公司；XW-80A 漩涡混合器，江苏海门市麒麟医用仪器厂；HR 1727/06/BC 飞利浦粉碎机，珠海飞利浦家庭电器有限公司。

1.2　样品前期处理

小麦籽粒用粉碎机打碎，混匀。准确称取 10.0 g 小麦粉于 50 mL 具塞离心管中，每处理重复 3 次，加 5 mL 超纯水和 20 mL 乙腈，振荡提取 30 min，加入氯化钠 5 g、无水硫酸镁 2 g，高速涡旋 1 min，3 800 r/min 离心 5 min，取 1 mL 上清液，放入含 50 mg PSA 的 2 mL 离心管中，涡旋 1 min，10 000 r/min 离心 3 min，取上清液过 0.22 μm 有机系滤膜装入自动进样瓶中，待测。

1.3　色谱条件和质谱条件

1.3.1　超高效液相色谱条件：BEH C18 色谱柱；柱温 45℃；流动相 A 为乙腈，流动相 B 为 0.2% 甲酸水溶液。梯度洗脱程序：0 ~ 0.5 min，10% A；0.5 ~ 1.5 min，10% ~ 90% A；1.5 ~ 3.0 min，90% A；3.0 ~ 3.1 min，90% ~ 10% A；3.1 ~ 5.1 min，10% A。流速：0.3 mL/min；进样量：10 μL。

1.3.2　质谱条件：电喷雾离子源，正离子电离（ESI +）；毛细管电压：3.0 kV；离子源温度：

120℃；碰撞能量：10 V；去溶剂温度：350℃；去溶剂气流量：N_2，600 L/h；锥孔电压：15 V；碰撞气为氩气。定性离子对 m/z 241/117，定量离子对 m/z 241/193。

1.4　室内蚜虫饲养与生长发育及产蚜量观测

室内试验在人工气候箱内进行，试验条件为温度 16 ± 1℃，相对湿度 70% ± 5%，光周期 14L:10D。2011 年 7 月份将不同剂量吡虫啉拌种处理后收获的籽粒播种于直径 10 cm，高 15 cm 花盆中，并播种非药剂拌种籽粒作为对照，纱盒网罩法采用郭萧等(2010)的实验方法，用纱盒(2.5 cm × 2.5 cm × 2.5 cm)罩在小麦叶片上，每盒接 1 头，每处理接 10 盒，重复 3 次。待成蚜产下第 1 头若蚜时，移去成蚜，并罩上纱盒。自初产蚜开始，每天观察记录其生长发育情况，随时移去蚜蜕和死蚜。若蚜发育为成蚜进入产仔期后，每日观察记载产仔数并及时移去仔蚜，直至成蚜死亡为止(李贤庆等，2006)。

1.5　种群参数的计算

以 d(x) 为单位间隔，组建麦长管蚜在不同剂量吡虫啉拌种处理后收获的籽粒所长幼苗及空白对照上的实验种群生命表(丁岩钦，1980)，并计算出种群动态参数，公式如下：

净增值率 $R_0 = \sum l_x m_x$；

平均世代周期 $T = \dfrac{\sum x l_x m_x}{\sum l_x m_x}$；

内禀增长率 $r_m = \dfrac{LnR_0}{T}$；

周限增长率 $\lambda = e^{r_m}$；

种群加倍时间 $t = \dfrac{Ln2}{r_m}$。

式中，x 为特定日龄(d)，l_x 为在特定年龄存活率，m_x 为在特定年龄单雌产雌数。

1.6　数据处理

试验数据均采用 Excel 2003 和 SPSS16.0 软件进行分析，分析方法为单因素方差分析。

2　结果与分析

2.1　吡虫啉的添加回收率与相对标准偏差

取空白小麦粉 10 g，分别添加吡虫啉 0.005，0.05 和 0.25 mg/kg 3 个水平，同一水平重复 3 次，按照上述前处理方法和仪器条件测定方法回收率，计算结果表明，其回收率为 81.2%~91.7%，相对标准偏差为 3.73%~8.03%，检测条件符合农药残留分析要求。

2.2　不同剂量吡虫啉拌种处理后收获的小麦籽粒中吡虫啉的残留量

以 2，4，6 和 8 g/kg 的比例进行吡虫啉拌种后，收获的小麦籽粒中的吡虫啉残留量随着拌种剂量的增加而增加，8 g/kg 处理的籽粒吡虫啉残留量(0.0290 mg/kg)最高(表 1)，但明显低于美国和中国对吡虫啉在小麦籽粒中残留限量(0.05 mg/kg)的规定。方差分析显示，8 g/kg 处理与 2 和 4 g/kg 处理间差异极显著($P<0.01$)，与 6 g/kg 处理差异显著($P<0.05$)；6 g/kg处理与 2 g/kg 处理差异显著($P<0.05$)；2 g/kg处理与 4 g/kg 处理之间无显著性差异($P>0.05$)。

表 1　不同剂量吡虫啉拌种处理后收获的小麦籽粒中吡虫啉的残留量

Table 1　Imidacloprid residue in wheat seeds harvested from seeds treated with different dosages of imidacloprid

拌种剂量(g a.i./kg) Imidacloprid dosage	残留量(mg/kg) Residue
8	0.0290 ± 0.0015 aA
6	0.0236 ± 0.0021 bAB
4	0.0194 ± 0.0012 bcB
2	0.0179 ± 0.0012 cB
0 (CK)	0

表中数据为平均数 ± 标准误，同列数据后不同大小写字母分别表示经 Duncan 氏检验在 1% 和 5% 水平差异显著；表 2 和表 3 同。Data in the table are presented as mean ± SE, and the means with different small and capital letters in a column are significantly different at the 5% and 1% level, respectively (Duncan's Multiple Range Test). The same for Tables 2 - 3.

2.3　不同剂量吡虫啉拌种处理后吡虫啉残留对麦长管蚜实验种群动态的影响

室内观察发现，取食不同剂量吡虫啉拌种处理后收获的小麦籽粒所长幼苗后，麦长管蚜的存活曲线与对照基本相同，6 日龄之前全部若虫都能存活，7 日龄以后 8 g/kg 剂量处理存活率最先开始下降，47 - 49 日龄后不同剂量吡虫啉拌种处理组存活率逐渐为零，整个生育期若蚜阶段死亡率很低，死亡主要发生在成蚜阶段(图 1)。由表 2 可知，麦长管蚜的若蚜历期、成虫产仔量及寿命在不同剂量吡虫啉拌种处理组与对照之间均没有达到显著差异，但随着吡虫啉剂量的增加若蚜历期、成虫寿命与对照相比逐渐缩短；所有处理成虫产仔量、翅蚜率逐渐增高，且都大于对照。

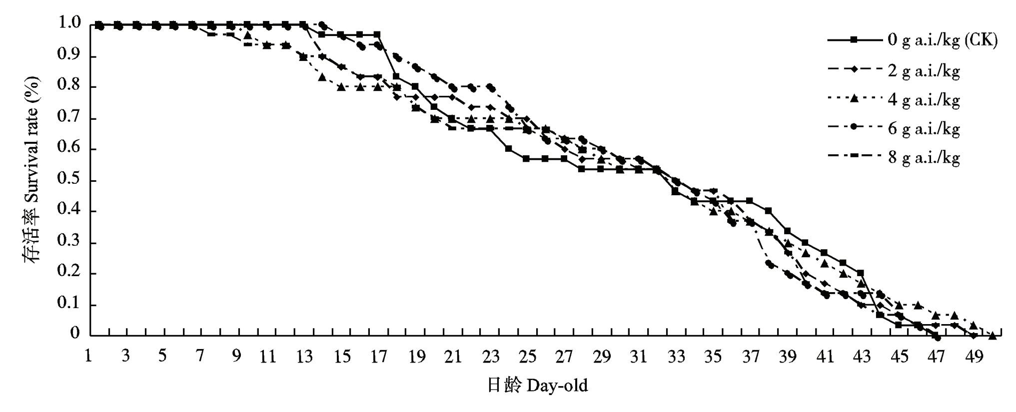


图 1　取食不同剂量吡虫啉拌种处理后收获的小麦籽粒所长幼苗后麦长管蚜的存活曲线

Fig. 1　Survivorship curve for *Sitobion avenae* feeding on seedlings grown from wheat seeds treated with different dosages of imidacloprid

表 2　不同剂量吡虫啉拌种处理后吡虫啉残留对麦长管蚜的发育和生殖能力的影响

Table 2　Effect of imidacloprid residue after seed dressing with different dosages of imidacloprid on development and fertility of *Sitobion avenae*

拌种剂量(g a. i. /kg) Imidacloprid dosage	若蚜历期(d) Nymphal duration	翅蚜率(%) Proportion of alates	产仔量(头/雌) Average number of offsprings per female	成虫寿命(d) Adult longevity
0 (CK)	8.33 ±0.16 a	0.20 a	25.60 ±1.63 a	29.30 ±1.99 a
2	8.10 ±0.15 a	0.23 a	26.97 ±2.17 a	29.07 ±1.99 a
4	8.09 ±0.18 a	0.21 a	26.84 ±1.82 a	28.80 ±2.25 a
6	8.07 ±0.15 a	0.23 a	26.67 ±1.31 a	28.73 ±1.73 a
8	8.05 ±0.14 a	0.27 a	26.03 ±2.01 a	28.33 ±2.13 a

表中数据为平均值 ± 标准差，同列数据后相同小写字母表示差异不显著(P = 0.392 > 0.05，Duncan 氏检验)。Data in the table are mean ± *SD*, and those followed by the same letter in the same column are not significantly different (P = 0.392 > 0.05, Duncan's multiple range test).

2.4　不同剂量吡虫啉拌种处理后吡虫啉残留对麦长管蚜实验种群生命表参数的影响

数据分析结果(表 3)显示，取食对照和不同剂量吡虫啉拌种处理后收获的籽粒所长幼苗后，麦长管蚜的净生殖率(R_0)、内禀增长率(r_m)、周限增长率(λ)均表现为对照最低，且随着吡虫啉残留量的增加而逐渐增高。而种群加倍时间(d_t)、平均世代周期(T)与对照相比偏低，并随着吡虫啉残留量的增加逐渐降低。方差分析显示，各项生命参数在处理组和对照之间均未达到显著性差异(P = 0.406 > 0.05)。研究结果在一定程度上证实了不同剂量的吡虫啉拌种处理后下一代小麦种子中的残留量对麦长管蚜的发育历期和生殖能力产生一定的影响，麦长管蚜通过增加有翅蚜量、产仔量等生存对策进行主动适应。

表 3　不同剂量吡虫啉拌种处理后吡虫啉残留对麦长管蚜的生命表参数的影响

Table 3　Effect of imidacloprid residue after seed dressing with different dosages of imidacloprid on life table parameters of *Sitobion avenae*

拌种剂量 (g a. i. /kg) Imidacloprid dosage	净生殖率 Net reproductive rate R_0	内禀增长率 Intrinsic rate of increase r_m	周限增长率 Finite rate of increase λ	种群加倍时间 Population doubling time d_t	平均世代周期 Mean generation time T
0 (CK)	25.6000	0.2141	1.2388	3.2373	15.1445
2	26.1437	0.2244	1.2516	3.0887	14.6811
4	26.2000	0.2257	1.2532	3.0703	14.4657
6	26.6851	0.2281	1.2560	3.0387	14.3974
8	26.7452	0.2288	1.2583	3.0568	14.3739

3 讨论

随着我国《食品安全法》的实施，对农药使用技术提出了更加严格的安全要求，不仅对人畜安全性要求提高，而且对环境有益生物、农田生态环境以及水环境安全等的要求也在不断提高。吡虫啉作为广谱、高效、低毒的杀虫剂在生产中得到了广泛应用，吡虫啉的残留问题以及施药后所引起的生态效应问题已成为消费者关注的焦点。目前对于吡虫啉的残留及安全性的研究主要集中在蔬菜、茶叶和水果方面，对粮食作物的研究较少。党志红等(2011)以不同剂型和剂量的吡虫啉拌种，对吡虫啉在小麦籽粒中的残留进行分析，以 8.4，4.2 和 2.1 g/kg 的70%吡虫啉湿拌种剂进行拌种，收获的小麦籽粒中吡虫啉残留量分别为 0.046，0.024 和 0.024 mg/kg。本研究采用 2，4，6 和 8 g/kg 不同剂量进行处理，收获的小麦籽粒中吡虫啉的残留量随拌种剂浓度增加而增加，但都低于美国和我国制定的吡虫啉在小麦籽粒中残留量的最低标准 0.05 mg/kg，其中以8 g/kg 处理后收获的籽粒中残留量最高，为 0.0290 mg/kg，比党志红等(2011)研究结果偏低，考虑不同吡虫啉拌种剂的厂家和剂型之间存在差异，研究结果基本一致。根据刘爱芝等(2003)对蚜虫防治效果的研究，使用 225 ~ 480 g 拌 100 kg 小麦种子就可以有效地控制小麦全生育期麦蚜的危害。都振宝等(2011)利用两代新烟碱类杀虫剂吡虫啉和噻虫嗪拌种结果发现吡虫啉有效剂量 2.0 和 4.0 g/kg，噻虫嗪有效剂量 1.0，2.0 和 4.0 g/kg 均能有效地降低田间麦蚜的种群数量，后期噻虫嗪的防治效果好于吡虫啉。本项研究也设置了不同剂型、不同剂量的吡虫啉进行拌种，田间系统调查结果也显示出 4 g/kg 的有效剂量就可以对麦长管蚜产生很好的防治效果(结果另行发表)。因此，建议生产上使用吡虫啉进行小麦种子处理时，以 4 g/kg 左右的吡虫啉和小麦种子比例进行拌种，在此水平上即可有效控制小麦生育期内蚜虫的危害，而且籽粒中农药残留量相对偏低。另外，还应该继续筛选不同药剂，避免同一种药剂长期大面积使用，由此带来的蚜虫抗药性的累积增加和再生猖獗。

农药的使用可以影响寄主植物的生理生化导致其抗性下降，使之有利于害虫的取食和生殖，这一现象被称为农药诱导感虫性(pesticide-induced susceptibility)(Wu *et al*., 2001a, 2001b)，农药诱导感虫性已经在多种农药和害虫的研究中得到了证实(吴孔明和刘芹轩，1992；王荫长等，1994；Jeyakumar and Gupta, 2007)。在昆虫对吡虫啉的抗药性方面，Bank 和 Needham (1970) 等在对桃蚜 *Myzus persicae* 的研究中发现，抗性桃蚜比敏感桃蚜发育更快，成蚜初期产仔量更高，比敏感品系竞争力更强。关于麦长管蚜抗药性方面，多项研究表明，由于用药时间和农药使用技术的不同，致使长期、连续、单一使用同一种农药的地方产生了毒力下降，药效降低，蚜虫产生了抗药性(魏岑等，1988，1990)。彭丽年等(2000)测定了四川省不同地区麦长管蚜对乐果和氧乐果的抗性已达中抗至极高抗水平，对氰戊菊酯和溴氰菊酯也产生了较高水平的抗性。邱高辉等(2008)用吡虫啉对采自田间的麦长管蚜种群在室内进行抗性种群选育，经过两年时间的逐月筛选后获得了对吡虫啉抗性指数为 25.22 倍的抗性品系，抗性筛选结果说明长期单一使用吡虫啉防治麦长管蚜必然会引起麦长管蚜抗性的产生，但作者并没有对抗性麦长管蚜的生命参数进行描述。本研究发现随着吡虫啉残留剂量的增加麦长管蚜若蚜历期变短、有翅蚜率增加、产仔量增加、成虫寿命缩短，虽然与对照相比均未达到显著差异，但能明显看出随着剂量的变化上述参数也相应发生一定的变化。其他生命参数如净生殖率、内禀增长率、周限增长率均比对照偏高，种群加倍时间、平均世代周期比对照偏低，这些结果说明小麦籽粒中的微量残留对麦长管蚜生长发育无显著不利影响，麦长管蚜通过增加有翅蚜量、产仔量等生存对策进行主动适应。本研究中使用的是拌种后残留吡虫啉的籽粒作为种子出苗后对麦长管蚜的影响，其吡虫啉含量与种子直接处理相比微乎其微，本研究结果证实虽然吡虫啉拌种后，其籽粒再育苗的小麦植株对下一代蚜虫基本没有控制作用，但在一定程度上可刺激麦长管蚜的生殖，因此对于吡虫啉杀虫剂作为喷雾和拌种等方式在小麦生产上的大量使用是否会引起蚜虫的再生猖獗必须值得关注。

吡虫啉拌种对麦蚜危害具有良好的控制效果和超长的持效期，并且对小麦的出苗、成株期生长没有不利的影响(刘爱芝等，2003，2009；党志红等，2011)，这项研究结果已经得到了广泛认可，并且作为一种新型的麦蚜防治技术被大面积推广。而近年来农药引起的有害生物不同生物型的演替和变异(如 Q 型烟粉虱迅速替代 B 型烟粉虱)、亚致死剂量农药导致的害虫种群再猖獗(三唑磷和吡虫啉等刺激褐飞虱再猖獗等)以及由于农药的不科学合理使用，许多药剂的使用寿命迅速缩短等一系列问题已经凸显。因此，在应用吡虫啉对小麦拌种进行大面积推广的同时，对吡虫啉的相关研究也要及时跟

进，只有反复验证，才能使吡虫啉作为小麦拌种剂更安全有效地推广和应用。

参考文献（References）

Bank CJ, Needham PH, 1970. Comparison of the biology of *Myzus persicae* (Sulz.) resistant and susceptible to dimethoate. *Annals of Applied Biology*, 66: 465 – 468.

Dang ZH, Li YF, Pan WL, Wang YX, Yan JR, Dai LH, Xu GM, Gao ZL, 2011. Research on the techniques and safety of dressing seeds with imidacloprid to control wheat aphids. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 48(6): 1676 – 1681. [党志红，李耀发，潘文亮，王亚欣，闫俊茹，代丽华，许桂明，高占林，2011. 吡虫啉拌种防治小麦蚜虫技术及安全性研究. 应用昆虫学报，48(6): 1676 – 1681]

Ding YQ, 1980. Principles and Application of Population Mathematical Ecology of Insects. Science Press, Beijing. 136 – 148. [丁岩钦，1980. 昆虫种群数学生态学原理与应用. 北京：科学出版社. 136 – 148]

Du CX, 2004. Outline of study on imidacloprid. *Natural Science Journal of Hainan University*, 22(1): 84 – 88. [杜春秀，2004. 吡虫啉研究概况. 海南大学学报自然科学版，22(1): 84 – 88]

Du ZB, Miao J, Wu YQ, Chen XL, Li GL, Gong ZJ, Duan Y, Jiang YL, 2011. Effectiveness of imidacloprid and thiamethoxam in controlling wheat aphids and the dynamics of pesticide residues in wheat leaves. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 48 (6): 1682 – 1687. [都振宝，苗进，武予清，陈锡岭，李广领，巩中军，段云，蒋月丽，2011. 新烟碱类杀虫剂拌种对麦蚜田间防效及药剂残留动态分析. 应用昆虫学报，48(6): 1682 – 1687]

Guo X, Li KB, Yin J, Wang B, Cao YZ, 2010. Effects of wheat varieties on population parameters of *Macrosiphum avenae* (Fabricius). *Scientia Agricultura Sinica*, 43 (10): 2056 – 2063. [郭萧，李克斌，尹姣，王冰，曹雅忠，2010. 不同小麦品种(系)对麦长管蚜生命参数的影响. 中国农业科学，43(10): 2056 – 2063]

Jeyakumar P, Gupta GP, 2007. Insecticide induced biochemical changes in cotton and consequent resurgence of whitefly. *Pesticide Research Journal*, 19(1): 90 – 92.

Li XQ, Guo XR, Li KB, Yin J, Cao YZ, 2006. Resistance of wheat varieties (lines) to *Sitobion miscanthi* (Takahashi) (Homoptera: Aphididae). *Acta Entomologica Sinica*, 49(6): 963 – 968. [李贤庆，郭线茹，李克斌，尹姣，曹雅忠，2006. 不同小麦品种(系)对麦长管蚜的抗性. 昆虫学报，49(6): 963 – 968]

Liu AZ, Tao LM, Han S, Liang JJ, 2009. Evaluation of the economic effective dosage of imidacloprid by dressing wheat seeds for control of wheat aphids. *Plant Protection*, 35(2): 10 – 12. [刘爱芝，陶岭梅，韩松，梁九进，2009. 吡虫啉拌种控制全生育期小麦蚜虫有效剂量评价. 植物保护，35(2): 10 – 12]

Liu AZ, Wang XJ, Wu YQ, Li SJ, Li QS, 2003. Effect of imidacloprid on wheat yield and evaluation of its economic dosage of controlling of wheat aphids. *Journal of Henan Agricultural Sciences*, (1): 27 – 29. [刘爱芝，王晓军，武予清，李素娟，李巧丝，2003. 吡虫啉对小麦产量的影响及其防治麦蚜有效剂量的评价. 河南农业科学，(1): 27 – 29]

Qiu GH, Yao Y, Han ZJ, 2008. Mechanism for imidacloprid resistance in *Sitobion avenae*. *Journal of Nanjing Agricultural University*, 31 (2): 67 – 70. [邱高辉，姚远，韩召军，2008. 麦长管蚜对吡虫啉的抗性机理研究. 南京农业大学学报，31(2): 67 – 70]

Sun JZ, Fang JC, Xia LR, Yang JS, Shen XS, 1996. Studies on the insecticidal activity of imidacloprid and its application in paddy fields against the brown planthopper, *Nilapavarta lugens* (Homoptera: Delphacidae). *Acta Entomologica Sinica*, 39 (1): 37 – 45. [孙建中，方继朝，夏礼如，杨金生，沈雪生，1996. 灭虫精的杀虫活性及田间防治褐飞虱的应用研究. 昆虫学报，39 (1): 37 – 45]

Wang AH, Wu JC, Yu YS, Liu JL, Yue JF, Wang MY, 2005. Selective insecticide-induced stimulation on fecundity and biochemical changes in *Tryporza incertulas* (Lepidoptera: Pyralidae). *Journal of Economic Entomology*, 98 (4): 1144 – 1149.

Wang YC, Fan JQ, Tian XZ, Gao BZ, Fan YR, 1994. Studies on the resurgent question of planthoppers induced by deltamethrin and methamidophos. *Entomological Knowledge*, 31 (5): 257 – 262. [王荫长，范加勤，田学志，高保宗，范岳荣，1994. 溴氰菊酯和甲胺磷引起稻飞虱再猖獗问题的研究. 昆虫知识，31(5): 257 – 262]

Wei C, Fan XL, Sun XP, Wang WL, Liu ZW, Chen GQ, 1990. Pyrethroid resistance in wheat aphids of Zhangye. *Acta Entomologica Sinica*, 33(1): 117 – 120. [魏岑，范贤林，孙小平，王文来，刘正文，陈广泉，1990. 张掖麦蚜对菊醋类杀虫剂的抗药性. 昆虫学报，33(1): 117 – 120]

Wei C, Huang SN, Fan XL, Sun XP, Wang WL, Liu ZW, Chen GQ, 1988. A study on the resistance of grain aphid *Sitobion avenae* to pesticides. *Acta Entomologica Sinica*, 31(2): 148 – 156. [魏岑，黄绍宁，范贤林，孙小平，王文来，刘正文，陈广泉，1988. 麦长管蚜的抗药性研究. 昆虫学报，31(2): 148 – 156]

Wu JC, 2011. Mechanisms on pesticide-induced resurgence of pests. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 48(4): 799 – 803. [吴进才，2011. 农药诱导害虫再猖獗机制. 应用昆虫学报，48(4): 799 – 803]

Wu JC, Xu JX, Liu JL, Yuan SZ, Cheng JA, Heong KL, 2001a. Effects of herbicides on rice resistance and on multiplication and feeding of brown planthopper (BPH), *Nilaparvata lugens* (Homoptera: Delphacidae). *International Journal of Pest Management*, 47(2): 153 – 159.

Wu JC, Xu JX, Liu JL, Yuan SZ, Jiang YH, Xu JF, 2001b. Pesticide-induced susceptibility of rice to brown planthopper, *Nilaparvata lugens* (Homoptera: Delphacidae). *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 100: 119 – 126.

Wu KM, Liu QX, 1992. Study on the resurgence caused by insecticides for cotton aphid, *Aphis gossypii*. *Acta Ecologica Sinica*, 12 (4): 341 – 347. [吴孔明，刘芹轩，1992. 杀虫剂诱使棉蚜再猖獗研究. 生态学报，12(4): 341 – 347]

Yu YS, Xue S, Wu JC, Wang F, Yang GQ, 2007. Changes in levels of juvenile hormone and molting hormone in larvae and adult females of *Chilo suppressalis* (Walker) (Lepidoptera: Pyralidae) after imidacloprid applications to rice. *Journal of Economic Entomology*, 100(4): 1188 – 1193.

Zhao KF, Shi ZP, Wu JC, 2011. Insecticide-induced enhancement of flight capacity of the brown planthopper *Nilaparvata lugens* (Stål) (Homoptera: Delphacidae). *Crop Protection*, 30(4): 476 – 482.

（责任编辑：赵利辉）